

大規模な海底変動による海中音速場の変化 — 3.11 巨大地震は海洋の音響環境に影響を与えたか? * —

○土屋利雄 (JAMSTEC/東京海洋大)

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日に発生した宮城県沖を震源とする M9.0 の東北地方太平洋沖地震(以下 3.11)は、広大な地域に甚大な被害をもたらした。しかし、従来、地震等による海底変動による海中の音速場の変化の記録などは報告されていないが、3.11 の海底の変動があまりに大きく広大なため津波などに起因する水塊の変化も海中の音速場に何らかの変化を与えた可能性も否定できない。また、海底下の地殻内からの大量の漏水等も報告⁹⁾されている。しかし、3.11 当時、震源域近辺で海洋観測していた船舶は存在せず、データが取得できなかった。そこで、ARGO システム^{1),2)}に注目し、震源域から東方の北西太平洋を浮遊している 12 台の ARGO フロートの 3/11 前後の水温と塩分データから音速プロファイルを算出し、それらを比較して海底変動による音速場変化シグナルの検出を試みた。

2. ARGO システムの概要

海洋における広域の音響環境データを計算するためには、海洋観測データを入手してからそれらを基に、音速などに変換するのが一般的な方法である。従来、海洋観測データは、多数の観測船などが計測した水温、塩分、深度データを公的機関が収集し、品質管理を行った後に公開することが多く、地球規模の観測データをリアルタイムで入手することは、ほぼ不可能であった。一部において Levitus データセット³⁾等で音速データなども公開されているが、これらもあくまで過去のデータをまとめた平均値である。もちろん海洋音響トモグラフィ観測などにより、直接的に音響特性を観測することも可能があるが、観測そのものが大掛かりとなり、その利用はかなり限定的であった。しかし、近年、本格的な運用モードに入った ARGO システムでは、全世界の海洋で常に稼働している 3000 台の観測機(アルゴフロート)から Fig. 1 のような観測パターンにより衛星経由でほぼリアル

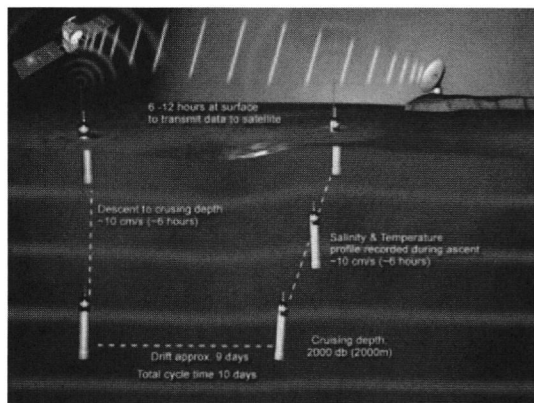


Fig. 1 ARGO フロートによる観測¹⁾

タイムに水深 2000m までの水温と塩分データが送られてくるようになった。これらのデータは、インターネット上でただちに公開されるため地球規模の海洋構造(平均 300km 間隔)を簡単に把握できるようになった。Fig. 2 に全海洋における ARGO フロートの展開状況を示す。

3. 解析手法及び調査海域

通常、地震などにより海底の変動による大きな圧力波が発生しても、海中の水が大きく移動する事象は、発生しないと考えられる。しかし、今回の 3.11 では、海底の地殻変動が大きく、地殻内からメタン等を含む水が多く漏出していることが報告されている。⁹⁾また、地震に伴う大津波による陸からの折り返し波により、水塊が大きく入れ替わり、水温や塩分の急激な変

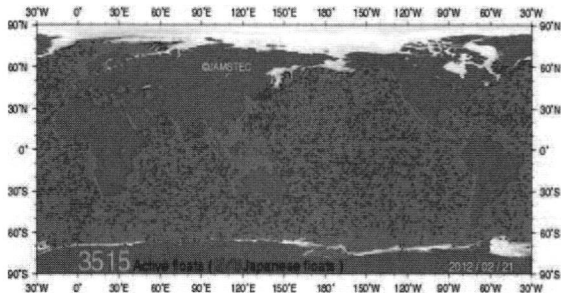


Fig. 2 ARGO フロート (3515 台) 展開状況²⁾
(20012/02/12 現在)

* Change of the sound speed environment in the ocean by a large-scale earthquake.

Did 3.11 affect the sound speed environment of the ocean?,

Toshio Tsuchiya (JAMSTEC / Tokyo University of Marine Science and Technology)

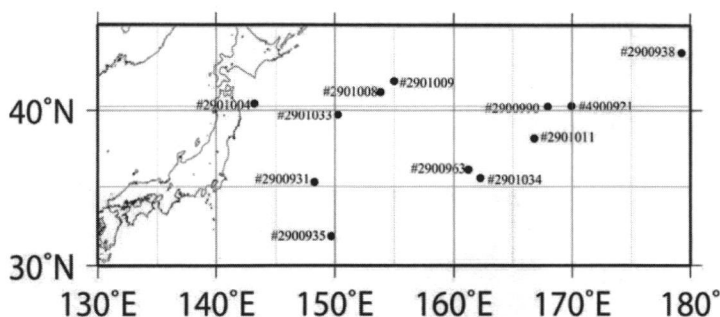


Fig. 3 解析に用いたアルゴフロートの位置

動により音速が変化する可能性もあると考えた^{9), 10)}。そこで、北西太平洋で我が国が管理している ARGO フロートの内、東日本大地震の震源域付近の海域でデータを取得したフロートを中心に 12 台を選び、2011/3/11 を中心に前後 3~4 週間のデータ (5~7 回分) を取得した。Fig. 3 では、解析に用いた 12 台のフロートの 2011/3/11 に最も近い浮上日の位置をプロットした。ここで、各数字は ARGO フロートの固有ナンバーである。これらのフロートから深度、水温、塩分データを netCDF 形式としてダウンロードし、変換ツール⁵⁾により ASCII 形式の CSV ファイル (水深、水温、塩分) に変換した。そして、それらのファイルを海洋音響計算サイト⁶⁾にアップロードし、UNESCO⁷⁾の音速式を用いて音速プロファイルを算出した。

4. 解析結果

Fig. 4 に 3/11 頃に震源域に最も近い海域を浮遊していた #2901004 の航跡図を示す。この図のように、3/11 の前後 (3/9 ~ 3/19) での移動距離はわずか 50NM 程度であるが、Fig. 5 のように 300m 以浅での音速プロファイル大きく変動していることが見て取れる。一方、Fig. 6 のように震源域から南東に 1000km 以上離れた #2900935 では、Fig. 7 のように約 2 ヶ月の音速の変化は極めて小さいことがわかる。音速プロファイルでは、日時変化がわかりにくいので、Fig. 8 に #2901004 の深度ごとの音速を日時変化としてプロットした。ここでの経過日時は、



Fig. 4 フロート #2901004 の航跡と 3.11 震源域

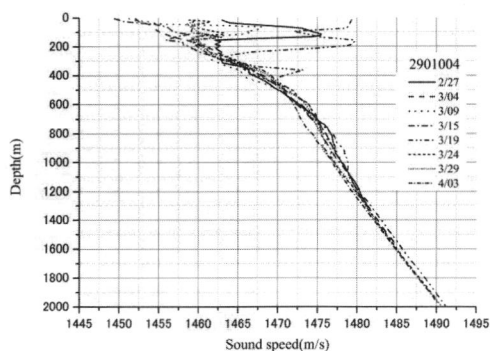


Fig. 5 #2901004 による日別の音速プロファイル (20011/2/27~2011/4/8)

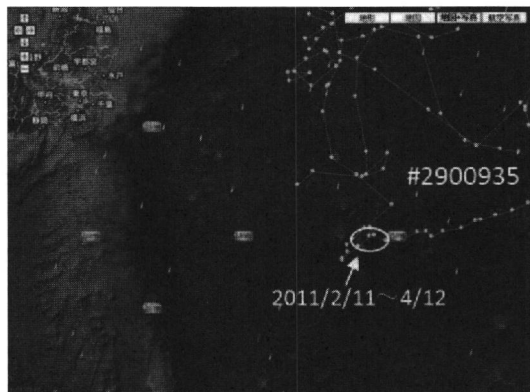


Fig. 6 フロート #2900935 の航跡

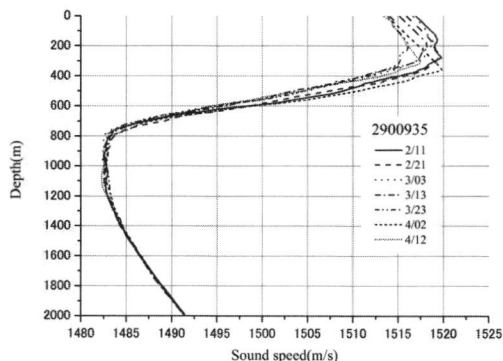


Fig. 7 #2900935 による日別の音速プロファイル (20011/2/11~2011/4/12)

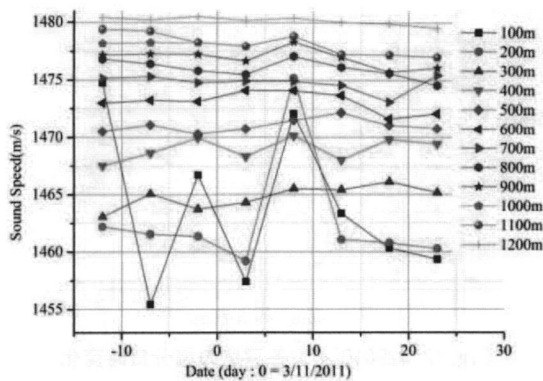


Fig. 8 #2901004 の各深度の音速日変化

3/11 を 0day とし、それより前を(－)後を(＋)としている。この図から水深 200m 以浅において 3/11 から 4 日後から音速が 15m/s 以上も急に上昇していることがわかる。また、水深 1000m でも約 5m/s の音速上昇が見られる。そこで、

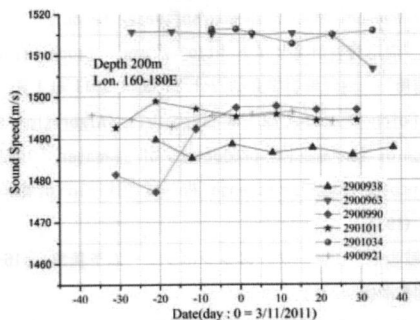
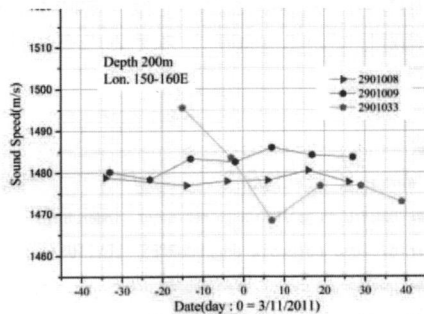
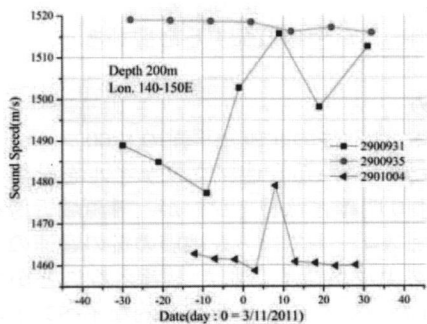
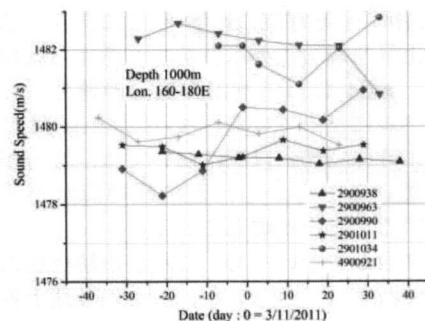
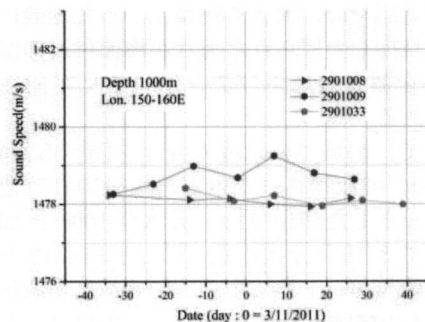
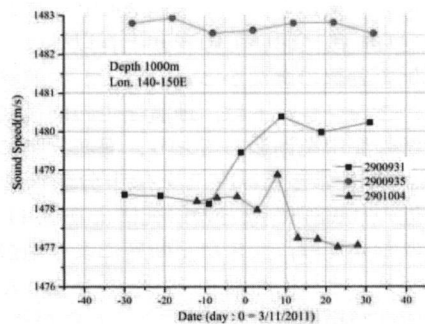
Fig. 9 水深 300m における音速の日変化
(2011/3/11=0day)

Fig. 3 の 12 台のフロートすべてについての音速の日時変化を調査した。Fig. 9 では、水深 200m (海面混合層)、Fig. 10 では、水深 1000m (深海等温層) での音速をプロットした。また、Fig. 9 と Fig. 10 においては、震源域からの離隔の影響を調べるため、フロートの位置別 (東経 140~150° E, 150~160° E 及び 160° E 以東) に分けてある。140 ~150° E においては、200m, 1000m とともに #2900931 の音速上昇がもっとも顕著である。しかし、このフロートでは、音速上昇が前日の 3/10 から始まっていることから、3.11 の影響があるとはいことができない。一方、#2901004 では、3/11 から数日後に水深 200m では、約 20m/s の音速上昇が、水深 1000m では、約 1m/s の上昇が見られる。しかし、#2900935 においては、#2900931 とほぼ同じ経度 (160° E) であるにもかかわらず、音速は安定して変化はみ

Fig. 10 水深 1000m における音速の日変化
(2011/3/11=0day)

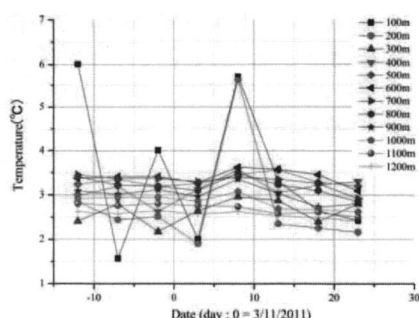


Fig. 11 #2901004 の各深度の水温日時変化

られない。また、Fig. 9 や Fig. 10 において 150 ~ 160° E や 160° E 以東でも #2901033 や #2900990 のように音速の大きな変化があるフロートも存在する。しかし、これらのフロートでは、3/11 の以前から音速変化が始まっており、海底変動の影響があったと断定できない。

これらの結果から、フロート #2901004 においてのみ 3/11 後における音速上昇以外は、明確な変化を確認できなかった。Fig. 4 の航跡のように、このフロートは、地震発生の前後に震源域近傍の海中を通過しており、海底変動による何らかの影響を受けたことは十分想像できる。最近の JAMSTEC などの研究により 3.11 の震源域においては、大きな正断層により地殻が跳ね上がり、それに起因して津波が発生したという可能性が指摘されている。^{9) 10)}したがって、震源域近辺では、大きく跳ね上がった地殻により、一旦押し上げられた海水が海面付近の温かい海水を数日後に再び沈み込ませた可能性も考えられる。¹⁰⁾

そこで、海域での水塊の変化を調べるため、#2901004 で取得された水温と塩分の日時変化をプロットした。Fig. 11 から、水深 100m と 200m において 3/19 に水温が約 4°C、と Fig. 12 から塩分が約 0.6‰ 上昇していることが見て取れる。

Fig. 4 の航跡図から 3/9 ~ 3/19 のフロートの位置は、南下する寒流の影響下¹¹⁾にあり、急激な温度上昇や塩分上昇は、あまり考えられない。しかも、3/24 には、水温や塩分の値は、3.11 前のレベルに戻っている。さらに、Fig. 12 に見られるように 300m 以深においては、塩分が低くなっていることから比重の軽い海水が沈み込んでいることを示唆している。

データ数が少ないため、これらの解析結果から簡単に断定はできないが、3/19 の音速上昇は、海底変動によって引き起こされた地殻内の漏水ではなく、津波によって生じた水塊の大きな

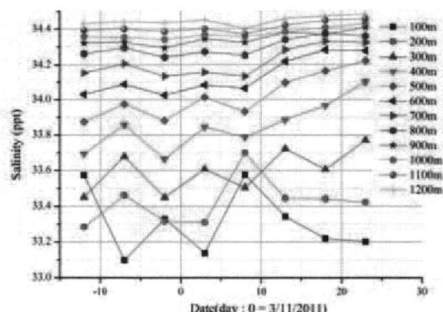


Fig. 12 #2901004 の各深度の塩分日時変化

入れ替わりを音速変化のシグナルとしてとらえた可能性も十分に考えられる。

#2901004 の音速プロファイルから求めの平均音速(水深 1200m まで)は、3/9 からの 10 日間で 9m/s も大きくなっている。このような音速変化は、音響測深器などの計測結果に大きな誤差を生じさせるため、海底変動がもたらす音速変化についても十分検証する必要がある。

5. まとめ

2011/3/11 前後の北西太平洋の ARGO フロート 12 台のデータから音速プロファイルを計算した。あまり明確とは言えないが、震源域近傍を通過したフロートでは、大地震の後の音速の上昇のシグナルが認められたと考えることができる。また、3.11 のような突発的なイベントにおける海洋データ取得においては、常時グローバルに展開している ARGO システムの有用性が再確認できた。

参考文献

- 1) <http://www-argo.ucsd.edu/>
- 2) http://www.jamstec.go.jp/ARGO/argo_web/argo/index.html
- 3) <http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.LEVITUS/>
- 4) http://www.jamstec.go.jp/ARGO/argo_web/argo/ActiveGmap.html
- 5) http://www.jamstec.go.jp/ARGO/argo_web/tools/tools.html
- 6) <http://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/>
- 7) 土屋, “海洋音響計算サイト <http://www.tsuchiya2.org> の作成・運用”, 海洋音響学会誌 Vol. 38 No. 1 2011 年 4 月
- 8) N. P. Fofonoff and R. C. Millard Jr., “Algorithms for computation of fundamental properties of seawater,” UNESCO technical papers in marine science. No. 44, Division of Marine Sciences. (1983).
- 9) 富士原敏也他, ブルーアースシンポジウム予稿集, p16-17 海洋研究開発機構 (2012)
- 10) Newton Press 編, 「M9 超巨大地震」, p14-27 (2011/7)
- 11) http://www.data.kishou.go.jp/db/kaikyoo/daily/current_jp.html